

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Návrh technologie výroby ohýbané součásti

Project of Bended Part Production Technology

Student:

Ludmila Zdřálková

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Radek Čada, CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Ludmila Zdráalková**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Návrh technologie výroby ohýbané součásti
Project of Bended Part Production Technology**

Zásady pro vypracování:

1. Popište výrobu součástí tvářením zastudena ve strojřenském komplexu firmy Umrk, a. s. Popište účel zadané součásti a možnosti její výroby.
2. Rozberte potřebné vlastnosti materiálů polotovaru pro výrobu ohýbaných součástí. Zvolte vhodný materiál pro výrobu zadané ohýbané součásti a popište jeho vlastnosti.
3. Nakreslete výrobní výkres ohýbané součásti, stanovte vhodné poloměry jednotlivých ohybů, stanovte rozvinutý tvar a navrhnete vhodný polotovar včetně nástřihového plánu.
4. Zformulujte požadavky na tvářecí stroj, na kterém se bude realizovat ohýbací operace, včetně potřebné přesnosti stroje. Vypočítejte ohýbací sílu a srovnajte ji se jmenovitou silou tvářecího stroje. Navrhnete vhodné tvary ohýbníku a ohýbnice včetně potřebných výpočtů.
5. Řešte chování materiálu v místě ohybu – přechování materiálu na vnitřní straně poloměru ohybu, natažení materiálu na vnější straně poloměru ohybu. Vypočítejte odpružení, posuny vnitřních hran po ohybu. Popište vlivy jednotlivých činitelů na velikost odpružení a způsoby jeho minimalizace a to jednak obecně, jednak u zadané součásti.
6. Zvolte tvářecí stroj vhodný pro danou ohýbací operaci, popište parametry vybraného stroje včetně potřebných nastavení. Popište konfiguraci částí ohýbacího nástroje, způsob kontroly rozměrů polotovaru před ohýbací operací, kontrolu vyrobené ohýbané součásti. Zpracujte technologický postup výroby ohýbané součásti.
7. Zpracujte rozbor možných výskytů vad (neshod) včetně popisů jejich možných příčin. Navrhnete opatření k zamezení výroby zmešků a způsob oprav vzniklých vad.
8. Proveďte celkové zhodnocení nově navržené technologie výroby ohýbané součásti včetně rámcového ekonomického zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovávaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, 2007, 48 s.

ČSN ISO 2145 (01 0104) Dokumentace: Číslování oddílů a pododdílů psaných dokumentů. Praha: Český

normalizační institut, 1997. 6 s.

ČSN ISO 7144 (01 0161) *Dokumentace: Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 24 s.

ČSN ISO 80000-1 (01 1300) *Veličiny a jednotky – Část 1: Obecně*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 60 s.

ČSN ISO 690 (01 0197) *Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 40 s.

ČSN ISO 214 (01 0148) *Dokumentace: Abstrakty pro publikace a dokumentaci*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 16 s.

PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt: Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 21. 10. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z www.345.vsb.cz/jihpetruzelka/texty/Jak%20psat.ppt.

ČADA, R. *Tvářetnost ucelových plechů: odborná knižní monografie*. Lektozovali: L. Pullák a P. Rumíšek. 1. vyd. Ostrava: REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.

EVIN, B., HRIVNÁK, A. a KMEC, J. *Získavanie materiálových údajov pre numerickú simuláciu*. In: *Zborník prednášok 7. medzinárodnej konferencie TECHNOLÓGIA 2001: 1. diel*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2001. s. 281-284. ISBN 80-227-1567-0.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

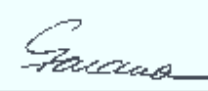
Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Radek Čada, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



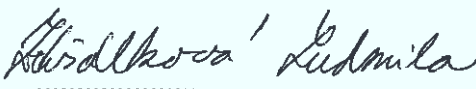

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

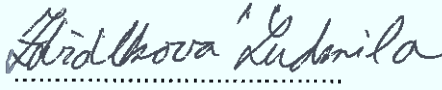
V Ostravě 21.5.2012


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2012


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Ludmila Zdrálková

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dubčany 65

78322 Cholina

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ZDŘÁLKOVÁ, L. *Návrh technologie výroby ohýbané součásti: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 51 s. Vedoucí práce: prof. Ing. Radek Čada, CSc.

Tématem bakalářské práce je Návrh technologie výroby ohýbané součásti, kde je řešena problematika ohybu. V první části bakalářské práce je rozebrána struktura materiálu a jsou zde určeny potřebné výpočtové vztahy k ohýbané součásti. Je zde pojednáno o volbě vhodného tvářecího stroje. V druhé části je řešena problematika ohybu, včetně technické dokumentace a návrh nové technologie výroby, včetně pojednání o vzniklých vadách a ekonomické zhodnocení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ZDŘÁLKOVÁ, L. *Project of Bended Part Production Technology: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2012, 51 p. Thesis head: Čada, R.

The theme of the bachelor thesis is design of production technology of bent part, where I solve problems of bending. The structure of material is discussed in the first part of the thesis. There are also determined the necessary equations for bent components and discussed choosing of the appropriate forming machine. The second part dealt with the issue of bending, including technical documentation and design of a new production technology, discussion of the resulting defects and economic evaluation.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	8
Úvod	9
1 Popis výroby součástí tvářením zastudena	10
1.1 Účel zadané součásti a možnosti její výroby	14
2 Rozbor materiálu.....	15
2.1 Volba vhodného materiálu a jeho vlastnosti.....	19
3 Výkresová dokumentace	20
3.1 Výrobní výkres ohýbané součásti	20
3.2 Stanovení poloměrů ohybu a rozvinutého tvaru součásti	20
3.3 Návrh polotovaru včetně nástřihového plánu.....	23
4 Požadavky na vhodný tvářecí stroj	25
4.1 Výpočet ohýbací síly	26
4.2 Návrh tvaru ohybníku a ohybnice	28
5 Chování materiálu v místě ohybu	29
6 Tvářecí stroj pro danou ohýbací operaci.....	33
6.1 Způsob kontroly ohýbané součásti	34
6.2 Technologický postup ohýbané součásti	35
7 Rozbor možných vad, opatření k jejich zamezení.....	42
8 Nová technologie výroby a ekonomické zhodnocení	44
9 Závěr.....	47
Seznam použitých pramenů	48
Seznam příloh	50

Seznam použitých značek a symbolů

E	modul pružnosti v tahu [MPa]
F	síla působící v ohybníku [N]
F_p	pěchovací síla [N]
R_o	poloměr na okrajových vláknech [mm]
R_m	mez pevnosti [MPa]
R_e	mez kluzu [MPa]
b	nejkratší ohyb/lem [mm]
k	součinitel [-]
l_n	délka oblouku neutrální vrstvy [mm]
l_1, l_2	délky ramen [mm]
l	vzdálenost ohýbacích hran [mm]
l_m	rameno ohybu [mm]
p_s	pěchovací tlak [MPa]
r	vnitřní poloměr [mm]
r_1	poloměr ohybu neutrální vrstvy [mm]
s	tloušťka materiálu [mm]
x	posunutí neutrální plochy napětí [mm]
α	úhel rozevření [°]
β	úhel odpružení [°]
σ_D	tlak [MPa]
σ_t	tah [MPa]

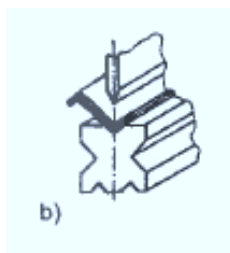
Úvod

Technologické procesy ve strojírenském průmyslu jsou děleny na oblasti jako například obrábění, svařování, tváření a další. Každá tato oblast má velice široký rozsah použitelnosti a technologických možností. Jednou z kapitol tváření je ohýbání. Ve firmě Unex a.s. je problematika ohybů neustále aktuální věcí. Řešeným problémem bakalářské práce je součást nazývaná bočnice. Bočnice je součástí nosné části rámu podvozku. Problematika ohybu bočnice spočívá v délce jednoho ramene. Dle výkresu je rameno určeno dvěma mezními rozměry. Nicméně toleranční pole detailu je pro předmětnou délku příliš velké, při ustavování komponentu do finálního výrobku, může dojít k nemožnosti správného usazení ramene do rámu. Řešeny jsou propočty rozvinuté délky, zkoumání chování materiálu, který má velký vliv na tvářitelnost ocelí. Je zvolena technologie vyhovující výrobnímu procesu s následnými úsporami.

1 Popis výroby součástí tvářením zastudena

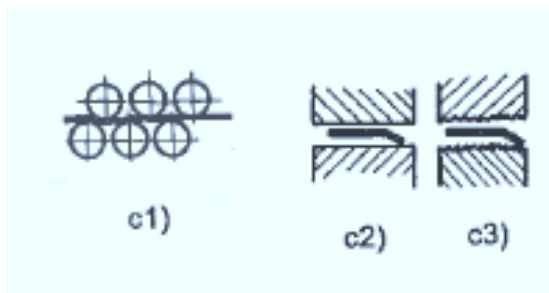
Rozdělení ohýbání: [10]

- ✓ prosté ohýbání (Tváření rovinné plochy v plochy různé vůči sobě orientované. Nástroj se nazývá ohýbadlo.)
- ✓ ohraňování (Plech ohýbáme v ohraňovacích lisech. Potřebný nástroj nazýváme ohraňovadlo.)



Obr. 1.2 Plech ohýbaný v ohraňovacích lisech

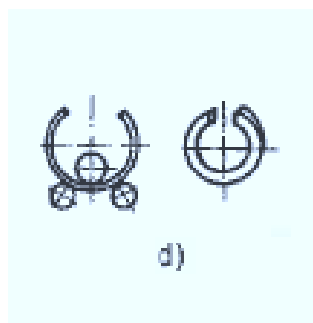
- ✓ rovnání (Rovnání plechů se provádí mezi rovnacími válci, podle velikosti polotovaru se určí typ válců. Menší polotovary, které neprojdou válci se rovnají na rovnadlech a ještě menší části, které nesrovnáme na rovnadlech se rovnají ručně. Ruční rovnání se provádí buď na podložku, a nebo měděnou paličkou.)



Obr. 1.3 Plech rovnaný mezi rovnacími válci

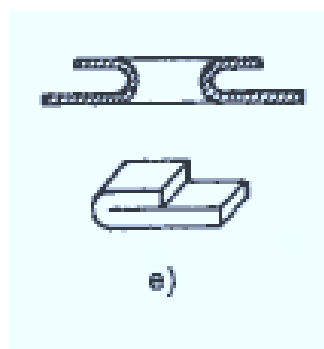
c1) znázorňuje rovnací válce; c2) rovné čelisti; c3) rýhované čelisti

- ✓ zakružování (Potřebný nástroj se nazývá zakružovadlo. Plochy rovinné nebo členité tváříme v plochy válcové.)



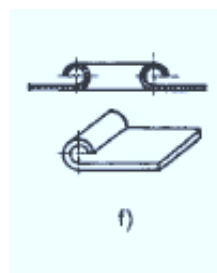
Obr. 1.4 Zakružovadlo

- ✓ lemování (Při ohybu prostorové nebo rovinné plochy získáváme lepší vzhled. Dochází k vyztužení okrajů a k odstranění hran, které jsou ostré. Potřebný nástroj se nazývá lemovadlo.)



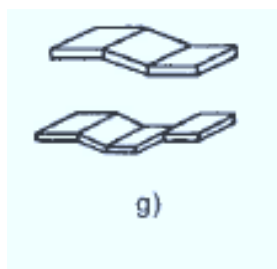
Obr. 1.5 Lemování

- ✓ obrubování (Vyztužování okrajů rovinné nebo prostorové plochy ke zvýšení jakosti okraje. Nástroj se nazývá obrubovadlo.)



Obr. 1.6 Obrubování

- ✓ osazování (Také se používá výraz prosazování. Plech je ohnutím promáčknut uvnitř rovinné plochy nebo na okraji. Potřebný nástroj se nazývá osazovadlo.)



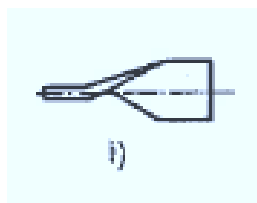
Obr. 1.7 Osazování

- ✓ drápkování (Systém, kdy se předechnou okraje tím, že se do sebe vzájemně zaklesnou a společně ohnou. Potřebný nástroj se nazývá drápkovadlo.)



Obr. 1.8 Drápkování

- ✓ zkrucování (Natáčení plochého nebo profilového polotovaru vzhledem k sousední části kolem společné osy o určitý úhel. Nástroj se nazývá zkrucovadlo.)



Obr. 1.9 Zkrucování

Tvářením ve firmě Unex a.s. se zabývají pracoviště na úseku, který se nazývá centrální příprava materiálu. Ve firmě Unex a.s. se nacházejí lisy, rovnací lisy, zakružovací válce, rovnací válce, stroje na lisování v přípravcích. Centrální příprava materiálu vlastní čtyři ohraňovací lisy. Dva lisy jsou hydraulické, číslicově řízené. Další dva lisy jsou mechanické.

Typy hydraulických lisů: [6]

- ✓ HDSY40 400 – HACO – tento lis je využíván na ohýbání plechů. Nejčastější tloušťky 6-15 mm po celé délce pracovního stolu, což je 4000 mm. Pracovní tlak je cca 400 tun. Jedná se o nejnovější ohraňovací lis, koupený v roce 1994. Ohýbají se zde plechy běžných jakostí.
- ✓ Ohraňovací lis PULLMAX EKP – H640 – tento lis se nejčastěji využívá k ohýbání plechů běžných jakostí o tloušťce 10-30 mm po celé délce pracovního stolu. Plechy o tloušťce do 40 mm jen v délce cca 1500 mm. Pracovní tlak lisu je cca 630 tun.
- ✓ Mechanický ohraňovací lis LODD 315D – jedná se o starší mechanický lis, využitelný pro ohýbání plechu tloušťky 4-20 mm. Pracovní tlak je cca 250-300 tun.
- ✓ Mechanický ohraňovací lis PKXA 315 – jedná se o stejný typ stroje jako předchozí ohraňovací lis. Pracovní tlak je cca 315 tun.

Tvářecí stroje na zakružování plechů a různých profilů: [6]

- ✓ Na zakružování plechů využíváme zakružovací válce typ X2M 3000/25 a VRM 2500/16 dle tabulek, které jsou vystaveny u daných strojů.
- ✓ Používáme také stroje k zakružování profilů jako například X2P 120/15.

Rovnací lisy: [6]

- ✓ K rovnání součástí se využívá rovnacích lisů LF200 (vřetenový lis) a hydraulický rovnací CDS 630.

Rovnací válce: [6]

- ✓ Stroj SIEMAG 32/1500 MAGDEBURG a SKET 32/3150 MAGDEBURG 1982. Na těchto typech válců je možno rovnat plechy nebo polotovary do tloušťky 30 mm.
- ✓ Na rovnání profilů je použit stroj FN1.

- ✓ Složité dvojité ohyby, nadrozměrné plechy, plechy od tloušťky 40 mm a silnější jsou poptány v externích firmách.

Pro ohyb součástí musí být dáno:

- ✓ ohraňovací lis s příslušnou raznicí a ohybnice,
- ✓ výkresovou dokumentaci,
- ✓ měřicí a manipulační nástroje,
- ✓ operátor k danému stroji (musí být řádně proškoleni).

1.1 Účel zadané součásti a možnosti její výroby

Ohýbanou součástí je bočnice, která má číslo výkresu 4020713. Tento výrobek je nezbytnou součástí rámu podvozku pro firmu Nacco. Celková hmotnost finálního výrobku (celkového rámu) činí 3 405 kg. Součástí celkového rámu je kolem 60 součástí různých velikostí, tvarů, včetně ohýbané bočnice. Jednotlivé polotovary jsou v rámu navařeny. Podle velikosti bočnice a tloušťky materiálu je technologem stanoveno ohýbání součástí na ohraňovacím lise Pullmax. Pomocí simulačního programu, který je ve firmě k dispozici, je stanoven propočet potřebných údajů a jejich nastavení, které jsou nezbytné pro ohyb. Údaje si operátor překontroluje s dodanou výkresovou dokumentací a pracovním postupem. Po učinění těchto kroků musí operátor nastavit a připravit ohraňovací lis k dané operaci. Před samotným ohybem jakékoliv součásti musí vždy souhlasit: jakost materiálu, razník, ohybnice, tvar materiálu.

2 Rozbor materiálu

Rozdělení značek ocelí: [7]

- ✓ Skupina jedna jsou oceli, které jsou značeny podle použití, fyzikálních a mechanických vlastností.
- ✓ Skupina dvě jsou oceli označovány podle chemického složení.

Konstrukční oceli jsou rozděleny: [7]

- ✓ Základní symboly: písmeno G vyjadřuje ocel na odlitky, písmeno S vyjadřuje v označení jakosti materiálu konstrukční ocel.
- ✓ Mechanické vlastnosti: u mechanických vlastností je stanovena minimální mez kluzu, která se udává v MPa.
- ✓ Přídavné symboly: jsou to symboly číslic nebo písmen, které jsou součástí označení materiálu. Každé písmeno nebo číslo má v označení svůj význam.
- ✓ Nedílnou součástí označení jakosti materiálu jsou písmena abecedy. Dle tabulky 2.1 lze určit dle písmen a číslic vyskytujících se v označení jakosti materiálu jejich význam.

Tab. 2.1 Značky vyskytující se v jakostech materiálu a určení jejich významu (podle velikosti nárazové práce a zkoušené teploty lze vhodně zvolit materiál k potřebnému procesu).[7]

Nárazová práce v Joulech (J)			Zkoušená. teplota
při 27J	při 40J	při 60J	°C
JR	KR	LR	20
J0	K0	L0	0
J2	K2	L2	-20
J3	K3	L3	-30
J4	K4	L4	-40
J5	K5	L5	-50
J6	K6	L6	-60

BĚŽNÁ OZNAČENÍ V JAKOSTECH MATERIÁLU:

A – precipitačně vytvrzeno, M – termomechanicky válcováno, N – normalizačně žíháno nebo normalizačně válcováno, Q – zušlechtěno, G – vyjadřuje charakteristiky, následuje jedna nebo dvě číslice (dle ČSN EN 10027-1)

V tabulce 2.1 je popsána skupina ocelí, které jsou označovány podle použití a fyzikálních nebo mechanických vlastností. Pokud označení nestačí připojí se přídatné symboly ze skupiny dvě. Tyto symboly lze použít jen společně se skupinou jedna a musí být připojeny za nimi.

Pokud chceme rozlišit dva druhy ocelí jedné normy na výrobek, připojí se jedna nebo dvě číslice s výjimkou chemických značek. Chemická značka musí být na posledním místě, pokud použijeme dva symboly z této skupiny.

Použitelné značky dle ČSN EN 10027-1 skupina 2: C – se zvláštní tvařitelností za studena, D – pro žárové pokovování ponorem, E – pro smaltování, F – pro kování, H – duté profily, L – pro nízké teploty, P – štetovnice, S – pro stavbu plavidel, T – pro trubky, W - odolné proti atmosférické korozi.

Příklady značek :

Tab. 2.2 Příklady značení ocelí dle ČSN EN 10027-1 s označením jakostí dle norem. [7]

Norma	Značení oceli dle ČSN EN 10027-1	Příklad označení jakostí
EN 10025-2	Podle EN 10027-1 pro ocelové konstrukce	S235JR, S355J2, S355K2
EN 10028-6	Podle EN 10027-1 pro tlakové nádoby a zařízení	P355Q, P355QH, P355QL1
EN 10208-2	Podle EN 10027-1 pro oceli na potrubí	L360NB, L360QB, L360MB
EN 10025-2	Podle EN 10027-1 oceli na strojní součásti	E295, E335, E360
nenormalizovaná	Podle EN 10027-1 oceli pro výztuž do betonu	B500A
EN 13674-1	Podle EN 10027-1 oceli na kolejnice	R320Cr

Vlastnosti prvků vyskytujících se v materiálu: [2]

Skutečné prvky, které jsou obsaženy v materiálu se vyčtou z atestu. Tento protokol je dodáván s každým materiálem.

UHLÍK – Snížená tvařitelnost, která se pohybuje v oblasti teplot kolem 800 °C až 1 000 °C. Tvařitelnost, která je optimální při obsahu uhlíku je kolem 0,25 %. Pokud stoupá hmotnostní podíl uhlíku v oceli, tvařitelnost se snižuje a naopak sklon k růstu zrna se zvyšuje a to v oblasti vysokých teplot.

MANGAN – za tepla odstraňuje křehkost.

CHROM – při příměsy prvku chromu je snižována energie vrstevných chyb a je ztěžována kinetika uzdravovacích procesů. Z tohoto důvodu je snížena tvářitelnost a zvyšují se deformační odpory. Chromové oceli jsou velmi citlivé na tepelné pnutí, a proto vyžadují zvýšenou pozornost při ohřevu a ochlazování.

NIKL – v litém stavu je tváření niklu obtížné.

SÍRA – v kombinaci se železem vytváří nízkotající sulfid železa. Síra způsobuje odstranění lámavosti za tepla, je vyžadována vazba síry na prvky, které vytvářejí sulfidy s vyšší teplotou tání.

FOSFOR – tento prvek podporuje křehkost zastudena. Je to silný prvek, který může vyvolat v místě zvýšeného výskytu vznik nežádoucí dvoufázové struktury.

MĚĎ – nebezpečí tvorby povrchových trhlin při tváření zatepla, vzniká při podílech hmotnosti nad 0,20 %. Trhliny vznikají pokud jsou zeslabeny hranice austenitických zrn vyredukovanou mědí nebo mědí obohacených fází. Některé prvky s mědí mají nepříznivý vliv, dochází ke snižování rozpustnosti mědi v austenitu. Pokud chceme, aby měď měla lepší tvářitelnost, použijeme například přísadu niklu, ten s mědí tvoří tuhé roztoky s vyššími teplotami tání.

DUSÍK – v oceli je vázán na nitridy, ty mohou dělat problémy při tváření zatepla a hlavně při tváření zastudena snižují odolnost proti křehkosti.

VODÍK – nemá zásadní vliv na tvářitelnost oceli, ale při vzniku vločkovitých trhlin (zatepla) může být příčinou.

HLINÍK – oxidy Al_2O_3 zjemňují primární strukturu, ale jen částečně.

BOR – v malých množstvích (tisíciny procenta) zpevňuje bor hranice zrn a zlepšuje tvářitelnost.

Rozdělení ocelí ke tváření: [2]

- ✓ podle stupně legování dělíme oceli na – legované (nizkolegované, středně legované, vysokolegované), nelegované (nizkouglikové, středně uhlíkové, vysokouglikové)
- ✓ podle způsobu výroby dělíme oceli na – oceli martinské, kyslíkové konvertorové ocele, kyslíkové tandemové ocele, elektroocel, ocele vyrobené speciálními způsoby

2.1 Volba vhodného materiálu a jeho vlastnosti

Pro řešenou ohýbanou součást je konstruktérem předepsán materiál dle EN 10025-2, jakost S355J2C+N. Alternativou je materiál S355MC. Tento materiál je vhodný pro ohyb řešené součásti. V obou materiálech jsou obsaženy prvky vhodné k tváření zastudena. Z ekonomického hlediska je však materiál S355MC dražší. Není tak běžný jako materiál S355J2C+N, a proto je i dodací lhůta materiálu S355MC delší. Což je vzhledem k procesu výroby problém. Z těchto důvodů je zvolen materiál S355J2C+N.

ROZBOR MATERIÁLU: [8]

S 355 J2 C+N

S – symbol pro konstrukční oceli

355 – minimální mez kluzu v MPa

J – nárazová práce do 27 J

2 – zkušební teplota nárazové práce do -20 °C

C – materiál vhodný k tváření zastudena

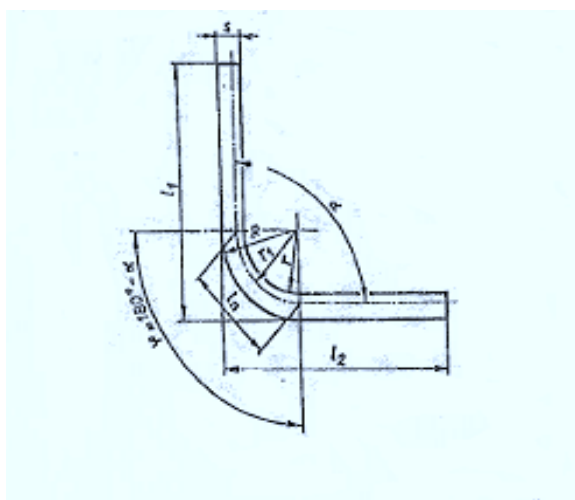
N – normalizační válcování (normalizing rolling), je označováno formou +N. Válcování, při kterém se v teplotní oblasti provádí konečná deformace. Materiál je uveden do stavu do ekvivalentního stavu získaném po normalizačním žíhání tak, že zůstávají zachovány požadované hodnoty mechanických vlastností i po normalizačním žíhání.

3 Výkresová dokumentace

3.1 Výrobní výkres ohýbané součásti

Výrobní výkres je součástí přílohy B s číslem výkresu 4020715. Bočnice je znázorněna v rozvinutém tvaru se zakótováním dle strojírenských zvyklostí. Nedílnou součástí je popisové pole, nad kterým jsou umístěny rozměrové tolerance dle požadovaných norem. V příloze A je znázorněna součást včetně detailu požadovaného ohybu.

3.2 Stanovení poloměrů ohybu a rozvinutého tvaru součásti [2,9]



Obr. 3.1 Znázorněna ohnutá součást s kótami veličin pro potřebné výpočty ohybu

Označení jednotlivých veličin dle obr. 3.1:

α - úhel otevření ve stupních, R - vnější poloměr ohybu v mm, r - vnitřní poloměr v mm, r_1 - poloměr ohybu neutrální vrstvy v mm, s - tloušťka materiálu v mm, l_n - délka oblouku neutrální vrstvy v mm, l_1, l_2 - délky ramen v mm

Při ohybu dochází k stlačování vnitřních vláken a naopak na straně vnější se natahují. Vlákná v neutrální vrstvě se nedeformují. Při malých ohybech se neutrální vrstva nachází ve středu průřezu, u větších deformací a malých poloměrech ohybu se vlákno ze středu průřezu posouvá k deformované straně. Např. u ohybu 90° se neutrální vlákno posune do $1/3$ tloušťky.

Střední hodnoty součinitele x pro výpočet poloměru neutrální vrstvy v závislosti na poloměru r/s .

Tab. 3.1 – Volba součinitele x v závislosti na pevnosti materiálu a podílu poloměru ohybu ku tloušťce

	Pevnost materiálu R_m	r/s											
		0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1	1,20	1,50	2
Součinitel x	do 400 MPa	0,25	0,30	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45
	nad 400 MPa									0,35	0,36	0,37	0,38
	Pevnost materiálu R_m	r/s											
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Součinitel x	do 400 MPa	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	nad 400 MPa	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49

Délka neutrální vrstvy l_n v ohnutém úseku se vypočítá ze vzorce pro obecný úhel φ ohnutého úseku:

$$l_n = \frac{\pi \cdot \varphi}{180^\circ} \cdot r_1 \quad (3.1) \text{ [mm]}$$

Pro úhel ohybu 90° platí:

$$l_n = \frac{\pi}{2} \cdot r_1 \cong 1,57 \cdot r_1 \quad (3.2) \text{ [mm]}$$

Poloměr neutrální vrstvy se určí ze vztahu:

$$r_1 = r + s \cdot x \quad (3.3) \text{ [mm]}$$

Pro náš ohyb 90°

$$\frac{r}{s} = \frac{40}{16} = 2,5 \cong 3, \text{ dle jakosti materiálu } R_m \text{ do 400 MPa dle tab. 3.1 VOLÍM } x=0,46 \quad (3.4)$$

Poloměr neutrální vrstvy:

$$r_1 = r + s \cdot x = 40 + 16 \cdot 0,46 = 47,36 \cong 47,2 \quad (3.5) \text{ [mm]}$$

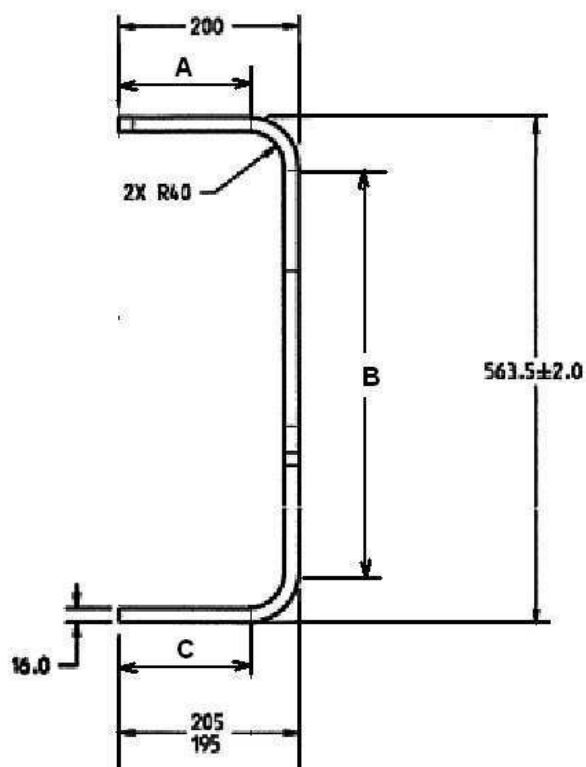
s – tloušťka materiálu [mm]

r – poloměr ohybu [mm]

Délka neutrální vrstvy v ohybu :

$$l_n = 1,57 \cdot r_1 = 1,57 \cdot 47,36 = 74,355 \quad (3.6) \text{ [mm]}$$

Výpočet rozvinu:



Obr. 3.2 Tvar výsledného obybu

Vzdálenost ramene A:

$$A = b - s - r = 200 - 16 - 40 = 144 \quad (3.7) \text{ [mm]}$$

Vzdálenost ramene B:

$$B = c - 2 \cdot s - 2 \cdot r = 563,5 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 40 = 451,5 \quad (3.8) \text{ [mm]}$$

Vzdálenost ramene C:

$$C_1 = d - s - r = 205 - 16 - 40 = 149$$

$$C_2 = e - s - r = 195 - 16 - 40 = 139$$

(3.9),(3.10) [mm]

Celkový rozvin:

A=C (navrhovaná úprava)

$$A + B + C + (2 \cdot l_n) = 144 + 451,5 + 144 + (2 \cdot 74,355) = 888,21$$

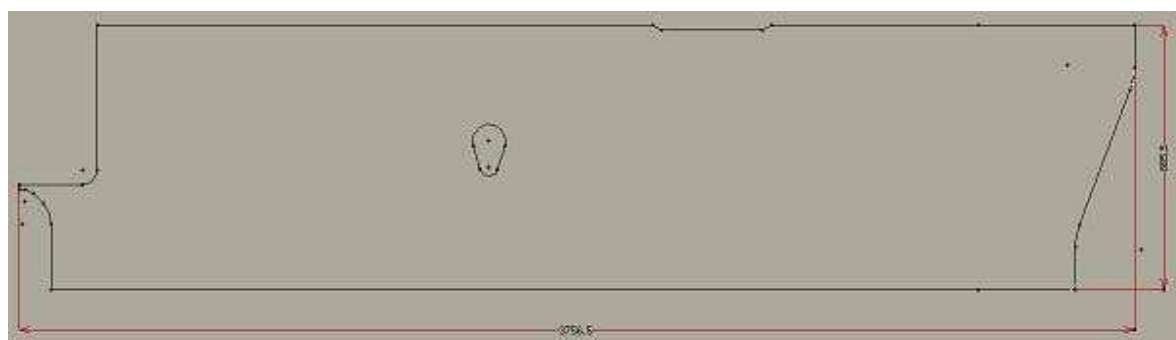
(3.11) [mm]

Do rovnice (3.11) je dosazena navrhovaná úprava ramene C, která je 144 mm.
Po dosazení do rovnice je výsledný rozvin 888,21 mm.

3.3 Návrh polotovaru včetně nástřihového plánu



Obr. 3.3 Návrh polotovaru - nástřihový plán



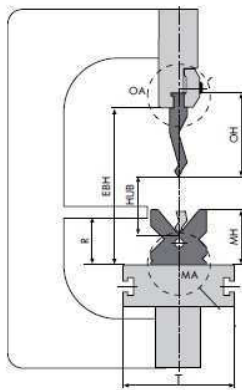
Obr. 3.4 Polotovaru bočnice

Rozměr polotovaru: tloušťka 16 mm, šířka polotovaru 885,5 mm a délka 3756,5 mm. Hmotnost součásti činí 382,28 kg. Na obr. 3.3 je promítnuto umístění polotovaru do formátu plechu s délkou 12 m a šířkou 2 m. Spotřební hmotnost součásti je 438,39 kg. Hmotnost šrotu z nástřihového plánu činí 21,04 kg. Před samotnou výrobou součásti je důležité nakreslení bezchybného dxf formátu, který je vytvořen technologem, a nebo dodáno zákazníkem. Programátorem naprogramovaný pálicí plán je posunut do výroby. Polotovar bočnice vznikne dělením materiálu na pálicím stroji Plazma. Formát tabule plechu je před dělením materiálu otryskán (zbaven nečistot a rzi) dle ISO 8501-1 Sa 2 1/2. Je splněna rozměrová norma dle ČSN EN 10029A, jakost povrchu dle ČSN EN 10163-2a a rovinnost dle ČSN EN 10029. Při procesu dělení materiálu je součást deformována vlivem tepla, které u tohoto děje probíhá. Dělení materiálu musí být v souladu s ISO 9013-331. Následně je součást zabroušena (zbavena okují). Před samotným ohybem je polotovar rovnán na rovnacích válcích, dle ČSN EN 2768-2. Následně je součást připravena k ohybu.

4 Požadavky na vhodný tvářecí stroj

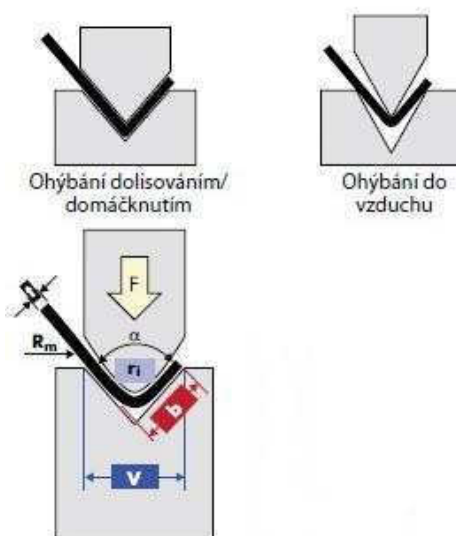
Přesnost stroje je charakterizována parametry stroje, které jsou dány výrobcem. Samozřejmě na přesnost stroje má vliv spousta činitelů, jako např. operátor, musí nastavit potřebné hodnoty pro ohýbanou součást. Dalším činitelem může být opotřebení jednotlivých částí tvářecího stroje.

Požadavky na tvářecí stroj jsou následující : tvářecí stroj musí dokázat ohnout materiál tloušťky 16 mm, zmanipulovat délku 3492 mm, musí zvládnout ohnout danou jakost.



Obr. 4.1 Profil stroje [12]

4.1 Výpočet ohýbací síly



Obr. 4.2 Ohýbání plechu [12]

s – tloušťka plechu, F – síla/tlak, V – otevření ohybnice, b – nejkratší ohyb/lem, r_i – vnitřní rádius, R_m – pevnost, α - úhel

Tab. 4.1 Síly potřebné pro ohýbání [12]

úhel 90°, $R_m = 450 \text{ N/mm}^2$		4	6	7	8	10	12	14	16	18	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	V
t		2,9	4,3	5	5,7	7,1	8,5	9,9	11,4	12,8	14,2	17,7	22,7	28,3	35,4	44,6	56,6	70,8	88,4	112,2	b
		0,7	1	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,2	4	5	6,3	7,9	9,9	12,5	15,7	19,6	25	r_i
0,5		42	25																		F
0,75		111	63	52	44	33	26														
1			125	101	84	63	50	41	35												
1,25			215	172	143	105	83	68	58	50	44										
1,5			338	269	221	162	127	103	87	75	66										
2						324	250	202	169	144	126	95									
2,5						430	344	286	243	211	158	115									
3							443	375	324	240	174	132									
4								448	375	324	240	174	132								
5									448	375	324	240	174	132							
6										448	375	324	240	174	132						
8											448	375	324	240	174	132					
10												448	375	324	240	174	132				
12													448	375	324	240	174	132			
15														448	375	324	240	174	132		

všechny údaje v kN/m

Výpočet optimálního rozevření ohybnice (matrice) V [mm]:

Tab. 4.2 Výpočet optimálního rozevření ohybnice V [mm] [12]

tloušťka t	0,5 - 2,5	3,0 - 8,0	9,0 - 10,0	12,0 a více
otevření matrice V	6 x t	8 x t	10 x t	12 x t

U řešené ohýbané součásti je požadována tloušťka 16 mm, tudíž optimální rozevření ohybnice je vypočítáno dle tab. 4.2 a následujícího vztahu:

$$V = 12 \cdot s = 12 \cdot 16 = 192 \quad (4.1) \text{ [mm]}$$

Rozevření ohybnice, je praktikováno s hodnotou $V=185 \text{ mm}$.

Síla stanovená strojem k ohnutí bočnice:

$$F = 4026,81 \text{ kN} - \text{síla na celkovou délku}$$

Sílu lze vyjádřit ze vztahu:

$$F = \frac{R_m \cdot s^2}{V} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot s}{V}\right) = \frac{355 \cdot 16^2}{192} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot 16}{192}\right) = 631,11 \quad (4.2) \text{ [kN/m]}$$

V – optimální rozevření ohybnice

s – tloušťka materiálu

R_m – mez pevnosti

4.2 Návrh tvaru ohybníku a ohybnice



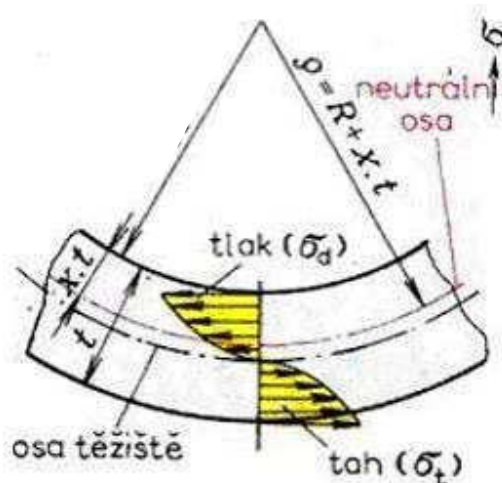
Obr. 4.3 Tvar ohybníku a ohybnice [12]

Parametry výroby pro ohýbanou součást:

HORNÍ DÍL NÁSTROJE (ohybník) – název 40-4000-OHA-3385 (40 – poloměr, 4000 – délka nástroje, OHA 3385 – evidenční číslo přípravku), úhel – 85° , výška – 194 mm.

SPODNÍ DÍL NÁSTROJE (ohybnice) – název 185-4000-OHA-3395, výška – 198 mm, V rozevření ohybnice – 185 mm, V úhel otevření – 60° .

5 Chování materiálu v místě ohybu



Obr. 5.1 Rozložení a velikost napětí v materiálu [11]

r – vnitřní poloměr ohybu, t – tloušťka materiálu, $x \cdot t$ – vzdálenost od vnitřního poloměru k neutrální ose

Pěchování materiálu na vnitřní straně poloměru ohybu [3, 4, 5]

Pěchování materiálu je děj, při kterém dochází k zhušťování materiálu v místě ohybu. Proces, kde dochází k plastické deformaci materiálu. Materiál je důkladně prohřát po celé délce a rovnoměrně. Je potřeba zajistit kolmost k ose stroje a rovnoběžnost ploch.

Pěchovací tlak

$$p_s = \sigma_p \cdot \left[1 + \frac{fd}{3h} \right] \quad (5.1) \text{ [MPa]}$$

Pěchovací síla

$$F_p = \frac{p_s \cdot \pi d^2}{4} \quad (5.2) \text{ [N]}$$

Natažení materiálu na vnější straně poloměru ohybu [3]

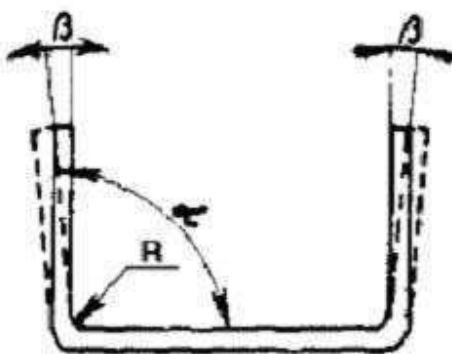
Působí zde tahová složka. Oblast tahu je rozdělena neutrální osou. Vznikají plastické deformace. Při ohybu dochází ke zvětšování plastické vrstvy. Deformace postupuje od povrchu do hloubky. Trvalá deformace se děje v okamžiku, kdy je přesáhnuta hodnota meze kluzu, díky tečnému napětí v okrajových vláknech na poloměru R_o .

$$R_{o \max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} + 1 \right) \quad (5.3) \text{ [mm]}$$

Výpočet odpružení [1]

Při ohýbání polotovaru má materiál po odlehčení snahu vrátit se do původního tvaru, a to o úhel odpružení β . U ohýbání má odpružení velký význam. Při ohybu se jeví jako odchylka úhlu, kde význam závisí na délce ramen. Podstatné je jak je materiál tvárný, jakým způsobem se ohýbá a jaký má poloměr ohybu.

Pro ohýbání do tvaru U:



Obr. 5.2 Ohýbání do tvaru U [1]

α - úhel otevření, β - úhel odpružení, R – poloměr ohybu

Tab. 5.1 Určení posunutí neutrální vrstvy napětí [1]

R/s	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
x	0,320	0,350	0,380	0,420	0,445	0,470	0,475	0,478	0,480	0,483	0,486

Úhel odpružení :

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad (5.4)$$

$$\beta = \operatorname{arctg} 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}$$

β – úhel odpružení [°]

l – vzdálenost ohýbacích hran [mm]

l_m – rameno ohybu [mm]

E – modul pružnosti v tahu [MPa]

R_e – mez kluzu [MPa]

s – tloušťka materiálu [mm]

R – poloměr ohybu [mm]

k – součinitel [-]

$k = 1-x$ x – posunutí neutrální plochy napětí

Tab. 5.2 Určení úhlu odpružení dle tabulky [11]

Materiál	R/t	
	0,8 až 2	>2
320 MPa	1°	3°
Ocel σ_{Pt} 320 až 400 MPa	3°	5°
400 MPa	5°	7°
Mosaz měkká	1°	3°
Mosaz tvrdá	3°	5°
Hliník	1°	3°

Posuny vnějších hran po ohybu

V tlakové složce se hrana stahuje a při tahové složce má tendenci se natahovat. Tím dochází k posunu vnějších hran. Tento jev se děje při každém ohýbání.

Vlivy jednotlivých činitelů na velikost odpružení a způsoby minimalizace [11]

Vlivy činitelů: pokud přestanou působit vnější síly na těleso, které deformujeme, rozměry součásti se částečně vrátí do původních hodnot, tzn. odpruží.

Způsoby minimalizace:

Z předcházejícího bodu víme, že úhel odpružení určíme buď z tabulek, a nebo ze vzorce. Abychom omezili odpružení, více ohneme materiál o danou hodnotu úhlu. O tento úhel se s korekcí stanoví nástroj.

Pomocí kalibrace – na konci procesu zvětšíme sílu, a jelikož dojde k místní deformaci v daném místě ohybu, sníží se velikost odpružení. V některých případech může být hodnota odpružení nulová.

O úhel odpružení podbrousíme pohyblivé čelisti.

Zaoblíme pohyblivou část na dolní straně.

V rozích, rázem zpevníme materiál.

Při ohybu, budeme odlehčovat pevné čelisti o danou tloušťku materiálu a zpevníme tak, materiál deformačním poloměrem v čelistech.

U naší součásti :

Minimalizace odpružení je možná v případě korekce dráhy nástroje, ale je možno ji zvýšit, a nebo i snížit v závislosti na chemickém složení použitého materiálu, který je sice dodáván v normách, ale nikdy nelze odhadnout chování materiálu při tváření.

6 Tvářecí stroj pro danou ohýbací operaci



Obr. 6.1 Tvářecí stroj Pullmax – určen pro výrobu bočnice

Z důvodu potřeby ohnout materiál tloušťky 16 mm, délky 3492 mm a materiál S355J2C+N. Je zvolen ohýbací lis **SMT – PULLMAX EKP – H640 300 x 4500** (obr. 6.1). Hodnota 300 mm je šířka spodní části stolu, 4500 mm je délka stolu stroje.

Parametry :



Obr. 6.2 Tabulka parametrů ohraňovacího lisu

Maximální zatížení – 6400 [kN]

Zastavení stroje (nouzové tlačítko) – 64 [ms]

Rok výroby – 1981

Pracovní tlak – 31,7 [MPa]

Hmotnost stroje – 33 400 [kg]

6.1 Způsob kontroly ohýbané součásti

Základní rozměry polotovaru (bočnice) jsou zkontrolovány z předešlého pracoviště pálení (a to buď na oddělení centrální přípravy materiálu, a nebo při dodání polotovaru z externí firmy). Polotovar je kontrolován mezioperační kontrolou (MOK), a nebo vstupní kontrolou (VK).

Kontrolní mechanismus ohýbání: Zodpovědnost nese operátor. Operátor musí zadat hodnoty (potřebné rozměry) do stroje pro daný ohýbaný polotovar. Operátor musí nastavit poloměry ohybu, střed ohybu, potřebné dorazy, správnou ohybnici, úhel ohybu, dle zkušeností nastaví úhlovou korekci pro odpružení.

Při samotném ohybu kontroluje operátor (při prvním kuse):

- ✓ Rozměry dorazu na střed ohybu (zda byly správně nastaveny reference stroje – parametry, které nastavil operátor).
- ✓ Operátor provede první ohyb, zkontroluje úhel ohybu – případně zkoriguje.
- ✓ Kontrola rozměru ohybu dle výkresové dokumentace a následně se provede vizuální
- ✓ kontrola na praskliny. Tato kontrola se provádí po každém ohybu. Jedná se o nosnou část podvozku, tudíž jakákoliv vada je nepřípustná.
- ✓ Operátor provede otočení polotovaru a ohýbá další stranu, provede opět vizuální kontrolu.
- ✓ Následuje kontrola rozměru daného výrobku, případné menší rozměrové neshody řeší korekcí.
- ✓ Po celkové kontrole operátora, výrobek zkontroluje kontrolor jakosti.

6.2 Technologický postup ohýbané součásti

- ✓ Operace pálení materiálu dle ISO 9013 – 331 (vznikne tvar polotovaru)
- ✓ Zabroušení výpalku (polotovar zbaven okují)
- ✓ Operace tryskání materiálu dle ISO 8501-1 Sa 2 ½ (pro zkvalitnění povrchu je materiál otryskán ještě po operaci pálení)
- ✓ Operace rovnání dle ČSN EN 2768-2

Operace ohýbání :

Polotovar po otryskání, vypálení, zabroušení, válcování.



Obr. 6.3 Polotovar po otryskání, vypálení, zabroušení, válcování.

Panel obsluhy (nastavení operátora – potřebné hodnoty).



Obr. 6.4 Panel obsluhy

Dotlačení obsluhou na dorazy.



Obr. 6.5 Dotlačení polotovaru na dorazy

Samotný ohyb – jedna strana.



Obr. 6.6 Samotný ohyb – jedna strana

Měření úhlu 90°.



Obr. 6.7 Měření úhlu 90°.

Vyjetí ohybníku a následné přeměření.



Obr. 6.8 Vyjetí ohybníku a následné přeměření

Otočení polotovaru (manipulace), příprava k ohybu – druhá strana. Mezi tím došlo k automatickému posunutí dorazů (již bylo nastaveno operátorem na stroji, před začátkem ohýbání).



Obr. 6.9 Otočení polotovaru (manipulace)

Dotlačení polotovaru na doraz.



Obr. 6.10 Dotlačení polotovaru na doraz

Druhý ohyb.



Obr. 6.11 Druhý ohyb

Vyjetí ohybníku.



Obr. 6.12 Vyjetí ohybníku

Přeměření součásti.



Obr. 6.13 Přeměření součásti.

FINÁLNÍ VÝROBEK



Obr. 6.14 Finální výrobek

7 Rozbor možných vad, opatření k jejich zamezení

Nejčastější vady:

CHYBNÉ ROZMĚRY – K chybným ohybům může docházet nesprávným rozvinem polotovaru (delší nebo kratší). Chybně nastavenými parametry operátora do programu. Chybným dotlačením polotovaru na dorazy (Vznikne kratší rameno ohybu, na celém polotovaru nastává rozměrová neshoda. Není zaručena souosost ohybu). Při chybné korekci může dojít k přehnutí ohybu.

Opatření: Překontrolování vhodného nastavení stroje a referencí. Kladení důrazu na silové dotlačení dorazů. Překontrolování, zda nejsou dorazy volné. Kontrola rozměrů po každém ohybu (měří se metrem, úhelníkem).

PRASKLINY V OHYBU – Vzniknou při nevhodně zvoleném materiálu. A také při nevhodně zvolených nástrojích. Praskliny mohou vzniknout na vnější části povrchu z důvodu vrubů (způsobeno mech. nástrojem, ostrým předmětem) nebo vadným plechem jsou na povrchu přeložky a pleny (obr. 7.1). Jsou vytvořené při válcování materiálu. Dle norem je to povolená vada, ale jen do určité hloubky a v určitých místech, ne po celém plechu. Okem nejsou zřejmé. Až při samotném ohybu, kdy dochází k natažení materiálu se tzv. materiál roztrhne.



Obr. 7.1 Praskliny v ohybu

Opatření: Řádně zkontrolovat materiál při dodání (vstupní kontrola). Kontrola atestů k dodanému materiálu. Správný výběr nástrojů (přípravků).

PŘÍČNÁ A PODÉLNÁ DEFORMACE (přímost, rovinnost) – Je způsobena předešlou operací rovnání, kde polotovár není správně vyrovnán do požadované tolerance dle norem.

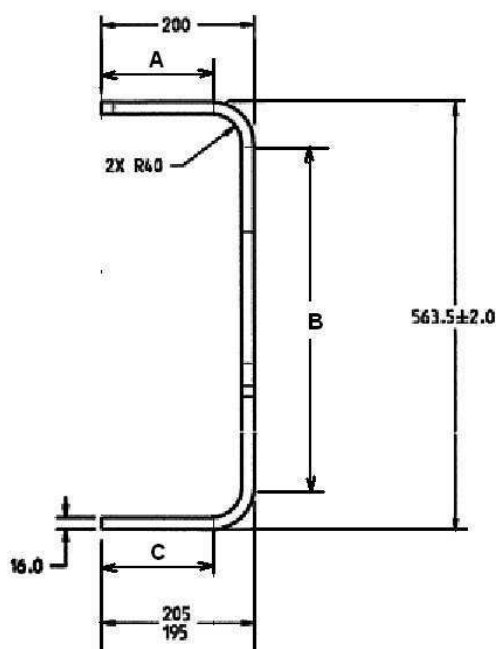
Opatření: Správně provést operaci rovnání. Pokud nelze vyrovnat, zvolit vhodnou technologii např. rovnání plamenem, lisováním na rovnacích lisech. Popřípadě nechat vyrovnat v externí firmě.

VADA PŘÍPRAVKU, VADA STROJE – Při vadě horního nástroje (ohybník) dochází k jinému rádiusu. Při vadě spodního nástroje (ohybnice) je tzv. vymačkaný. Pokud jsou nesprávné rozměry mezi hroty ohybníku, dochází k většímu ohybu a vytvoří se tzv. soudeček (vypoukne se). K vadám strojů dochází díky chybnému najetí dorazů, chybným referencím stroje.

Opatření: Kontrola přípravků. Při znehodnocení přípravků, oprava popř. zakoupení nových přípravků (není levná záležitost).

Opravy: Dá se částečně opravit soudečkovitost (buď plamenem, a nebo na lise). Dále se dá částečně opravit rozměrová deformace, kde se zvolí nahřátí plamenem. Ve většině případů jsou to zmetky, jelikož se jedná o nosnou část podvozku a jsou zde kladeny přísné požadavky na normy

8 Nová technologie výroby a ekonomické zhodnocení



Obr. 8.1 Tvar výsledného ohybu

V mé bakalářské práci se zabývám ohybem bočnice, která je součástí rámu podvozku. Tyto ohyby jsou problematické, z důvodu daných mezních rozměrů na výkrese. Kde má zákazník stanoveny volné rozměry 195 mm a 205 mm. A tyto rozměry mohou být ještě dle tolerancí zákazníka ± 3 mm. Neshoda spočívá v tom, že v sestavním výkrese se má při montáži dodržet tolerance 2 mm mezi nosníky, což při vrcholném rozměru 208 mm není možné. Přibýváním reklamací z montážních linek musel být tento problém řešen. Stanovením střední hodnoty ramene ohybu budou požadavky při montáži splněny.

Nově navržená technologie: Změna rozměru rozvinu polotovaru na šířku ramen A a C - v obr.8.1, Rameno C = 144 mm. Při dosazení upravené hodnoty C je výsledný rozvin 888,21 mm. Hodnota C1 bude 200 mm, střední hodnota z mezních hodnot 195 mm a 205 mm. Zaručen bude stejný střed ohybu, ulehčena bude práce operátora při nastavení jednoho parametru. Reference stroje bude nastavena pouze na jeden bod. Tím se eliminuje chyba rozměrů, špatné nastavení operátora. Rozměr 200 mm i s dalším požadavkem na toleranci ± 3 mm nám zaručí, že vždy dosáhneme max. rozměru 205 ± 3 mm. Díky této technologii a vhodně zvolenému rozměru hodnoty C1=200 mm, je zaručeno, že nedojde k problémům při montáži. A dochází k úspoře materiálu.

Ekonomické zhodnocení:

Tab. 8.1 Rozbor ceny výrobku

výkonové normy časů [nHod]					
			kusový	dávkový	celkem
práce			1,4	0,6	2,0
strojní			0,8	0,4	1,2

předpokládané náklady			pro jeden kus	pro 1 KS	jeden kus s výtěžností
mzda	dávková	171,00			
	kusová	340,25	511,2500	511,2500	511,2517
výrobní režie	dávková	340,68			
	kusová	575,16	915,8400	915,8400	915,8443
materiál	výpalky	7 547,74			
	ostatní	0,00	7 547,7400	7 547,7400	7 547,7400
nevýrobní režie výpalků			0,0000	0,0000	0,0000
kooperace			0,0000	0,0000	0,0000
mezisoučet			8 974,8300	8 974,8300	8 974,8360
nevýrobní režie sestav			0,0000	0,0000	0,0000
celkem včetně nev.rež.sestav			8 974,8300	8 974,8300	8 974,8360

výrobní režie – elektřina, topení, potřebné nástroje, opravy, potřebné náklady spojené s výrobou

mzda – zaplacená práce pracovníka

Propočet starého rozvinu na max. rozměr 205 mm:

$$A + (2 \cdot l_n) + B + C_1 = 144 + (2 \cdot 74,355) + 451,5 + 149 = 893,21 \quad (8.1) \text{ [mm]}$$

Propočet nového rozvinu:

$$A + B + C + (2 \cdot l_n) = 144 + 451,5 + 144 + (2 \cdot 74,355) = 888,21 \quad (8.2) \text{ [mm]}$$

Rozdíl (ušetření materiálu):

$$893,21 - 888,21 = 5 \text{ mm}$$

Dle zjištění našich propočtů, bude ušetřeno 5 mm materiálu na jednom kuse výrobku.

Nově vypočítaný rozvin podělíme ušetřeným materiálem:

$$\frac{888,21}{5} = 177,642$$

Při výrobě 177 ks vyráběné součásti, dle nového rozvinu, bude ušetřena jedna bočnice. Což z finančního hlediska činí 8 974 Kč.

9 Závěr

Z výsledku bakalářské práce o návrhu technologie výroby ohýbané součásti vyplývají tyto zjištění.

Při samotném ohýbání má vliv na tvářitelnost materiál. Nejvíce prvky, které jsou v něm obsažené. Porovnány byly materiály S355J2C+N s materiálem S355MC. Výsledným materiálem pro výrobu bočnice je materiál S355J2C+N. Rozbor materiálu a porovnání viz. kapitola 2.1.

Byla navržena úprava při výpočtu rozvinu. Navrženou úpravou je délka ramene C dle obr. 3.2. Hodnota $C = 144$ mm. Po dosazení do rovnice (3.11) je vypočten výsledný rozvin součásti 888,21 mm.

Řešeny byly minimalizace odpružení materiálu při ohýbání viz. kapitola 5, kde jsou dány způsoby minimalizace odpružení u vyráběné součásti.

Došlo k navržení vhodného tvářecího stroje viz. kapitola 6. Stroj Pullmax EKP – H640 300 x 4500 byl zvolen na základě požadavků ohýbané součásti, které splňuje.

Byly stanoveny zásady pro kontrolu ohýbané součásti viz. 6.1.

Při navrženém postupu výroby dle 6.2 a následném odzkoušení ve výrobě, bylo zjištěno, že součást je správně ohnuta dle výkresové dokumentace. Nastavené parametry byly v pořádku. U materiálu nedošlo k žádným vadám.

Dle výkresu viz. příloha A je rameno určeno dvěma mezními rozměry. Navržena byla hodnota C1 (střední hodnota mezních rozměrů) 200 mm viz. kapitola 8. Tato změna nám zaručí bezproblémové ustavení komponentu do finálního výrobku.

Aplikace navržené technologie na další součásti je možná. Vyrábí se obdobné kusy bočnice v různých délkách a tudíž při stejném postupu (výpočet rozvinu, stanovení upravených hodnot, volba stroje, atd.) lze aplikovat navrženou technologii ve výrobě.

Seznam použitých pramenů

- [1] *Technologie tváření kovů* Brno: VUT v Brně, 43 s. Fakulta strojního inženýrství.

Dostupné na WWW:

<http://www.google.cz/search?client=opera&rls=cs&q=Technvuby_l-tvareni&sourceid=opera&ie=utf-8&oe=utf-8&channel=suggest>.

- [2] *Tváření*, Ústí nad Labem: Univerzity J.E. Purkyně v Ústí nad Labem 119 s. Fakulta výrobních technologií a managementu. Dostupné na WWW:

<http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%C2%20fakulta%20v%C3%BDrobn%C3%ADch%20technologi%C3%AD%20a%20managementu%20univerzity%20j.e.%20purkyn%C4%9B%20v%20%C3%BAst%C3%AD%20nad%20labem&source=web&cd=3&ved=0CFEQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.stefanmichna.com%2Fdownload%2Ftvareni%2Fopora_tvareni.pdf&ei=d2m1T9S_lf80QWRjemQAq&usq=AFQjCNHhR7AOyEovIP0B3RrSIOUmXlss4A>.

- [3] HRUBÝ, J. *Tváření kovů – analýza procesů*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 51s. Fakulta strojní. Dostupné na WWW:

<http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=hrub%C3%BD%2C%20j.%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20kov%C5%AF%20E2%80%93%20anal%C3%BDza%20proces%C5%AF.&source=web&cd=1&ved=0CFAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.345.vsb.cz%2Fjirihruby%2Ftexty%2FTvareniKovuAnalizaProcesu.pdf&ei=jNivT7HWLlrdsgbWj8mrBA&usq=AFQjCNHLeMsp-U8mIO_wAK8edy92otFutQ>.

- [4] PETRUŽELKA, J. *Teorie Tváření II*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2010. 112s. Dostupné na WWW:

<<http://www.google.cz/search?client=opera&rls=cs&q=PETRU%C5%BDELKA,+J.+Teorie+Tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD+II.&sourceid=opera&ie=utf-8&oe=utf-8&channel=suggest>>.

- [5] PETRUŽELKA, J. *Teorie Tváření III*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2010. 148s. Dostupné na WWW:
<<http://www.google.cz/search?client=opera&rls=cs&q=PETRU%C5%BDELKA,+J.+Teorie+Tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD+III.&sourceid=opera&ie=utf-8&oe=utf-8&channel=suggest>>.
- [6] Interní systém webklass, firma Unex a.s
- [7] ČSN EN 10027-1 *Systémy označování ocelí - Část 1: Stavba značek ocelí*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 28 s.
- [8] ČSN EN 10025-2 *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli*. Praha : Český normalizační institut, 2005. 36 s.
- [9] Podniková norma Unex a.s. PNU 01 1010, *Výpočet rozvinutých délek plechů pro ohyby 0°-180°*, 1998
- [10] ČADA, R. *Technologie 1: Plastická deformace kovů, objemové tváření zastudena, tažení plechu, ohýbání*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2009. 85s. ISBN 8024821087
- [11] LENFELD, P. *Technologie II*. [online]. [cit. 13. května 2012]. Dostupné na WWW :
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm>.
- [12] UKB - Uwe Krumm Burbach GmbH [online]. [cit. 13. května 2012]. Dostupné na WWW :
<www.ukb-gmbh.cz>.

Seznam příloh

Příloha A – Výrobní výkres číslo 4020713 pravá bočnice

Příloha B – Rozvin součásti číslo výkresu 4020715

Děkuji panu prof. Ing. Radkovi Čadovi, CSc., panu Markovi Vojáčkovi a panu Alexandru Janulíkovi za poskytnutí podkladů a informací k vypracování bakalářské práce.